



УДК 621.515

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАГНЕТАТЕЛЯ С ОБРАТНЫМ НАПРАВЛЯЮЩИМ АППАРАТОМ

MODELING FLOW PASSAGE OF TWO- STAGE CENTRIFUGAL COMPRESSOR THIS BACK VANE

Калинин Илья Александрович, студент каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: kalininilia1996@gmail.com. Тел.: +7(904)542-02-21

Скороходов Александр Владимирович, старший преподаватель каф. «Турбины и двигатели», Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19. E-mail: skorohodov@gmail.com. Тел.: +7(902)266-43-19

Илья А. Kalinin, student, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, 620002, Mira street, 19, Ekaterinburg, Russia. E-mail: kalininilia1996@gmail.com. Ph.: +7(904)542-02-21

Alexandr V. Skorohodov, senior lecturer, Department «Turbines and engines», Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin, 620002, Mira str., 19, Ekaterinburg, Russia. Email: skorohodov@gmail.com. Ph.: +7(902)266-43-19

Аннотация: В статье рассматривается моделирование проточной части центробежного нагнетателя методом конечных объемов. Результаты моделирования представлены в сопоставлении с данными теоретического расчета.

Abstract: The article deals with the modeling of the flowing passage of a centrifugal compressor. The simulation results are presented in comparison with the theoretical calculation data.

Ключевые слова: численное моделирование, характеристика, центробежный нагнетатель, моделирование.

Keywords: numerical simulation, characteristic, centrifugal compressor, modeling.

Центробежные нагнетатели (ЦБН) широко применяются на газоперекачивающих станциях отечественной газотранспортной системы (ГТС). Получение действительных характеристик ЦБН является актуальной задачей, т.к. они позволяют выбрать рабочую точку, обеспечивающую оптимальный режим работы ГТС и минимизацию расходов топливной-энергетических ресурсов (ТЭР). В наше время активно развиваются подходы к численному моделированию течения, которые могут упростить работу и сэкономить время на проведение расчетов и проектирование. При наличии достоверной модели, которая соответствует теоретическому расчету, можно произвести оптимизацию проточной части или выбрать нужный режим работы ЦБН. Данная задача может быть решена численным моделированием, а конкретно методом конечных объемов.

Широкое применение нашли многоступенчатые ЦБН. Основное повышение давления в ступенях происходит в рабочем колесе (РК) как за счет

разгона потока под действием центробежных сил, так и за счет приращения давления при движении рабочего тела по диффузорным межлопаточным каналам. В кольцевом диффузоре вокруг рабочего колеса происходит преобразование скоростного напора в статическое давление. После рабочего колеса поток остается сильно закрученным в направлении вращения, поэтому установлен обратный направляющий аппарат (ОНА), основная задача которого, развернуть закрученный поток до осевого направления, чтобы обеспечить нормальный вход в следующее рабочее колесо [1]. Полноразмерная постановка задачи является сложно решаемой. По результатам численного моделирования, можно получить комплексное представление о течении рабочего тела в каналах компрессора.

В качестве объекта исследований выбран двухступенчатого центробежного нагнетателя с обратным направляющим аппаратом типа 2Н-16-76 «Уральский турбомоторный завод». Настоящее исследование направлено на получение

достоверной модели ЦБН. Для достижения поставленной цели было выполнено:

1. Построение твердотельной модели лопаточного аппарата ЦБН типа 2Н-25-76
2. Выполнен экспорт меридиональных обводов и лопаточного аппарата.
3. Разбиение проточной части на сетку конечных объемов и задание граничных условий.
4. Произведено сравнение расчетных данных с характеристиками производителя.

Исходные условия численного моделирования для построения линий постоянной частоты вращения (изодром):

1. Рабочее давление на выходе: $P_k^* = 76 \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2} = 7,45 \text{ МПа}$
2. Рабочая температура газа на входе в нагнетатель: $T_1 = 288,15 \text{ К}$
3. Удельная газовая постоянная:

$$R = 51,7 \frac{\text{кгм}}{\text{кг град}} = 507,2 \frac{\text{Дж}}{\text{кг К}}$$
4. Показатель адиабаты: $k = 1,33$
5. Коэффициент сжимаемости: $Z = 0,9$
6. Номинальная частота: $n = 5100 \text{ об/мин}$

Характеристика компрессора 2Н-16-76 в виде набора изодром представлена на рисунке 1.

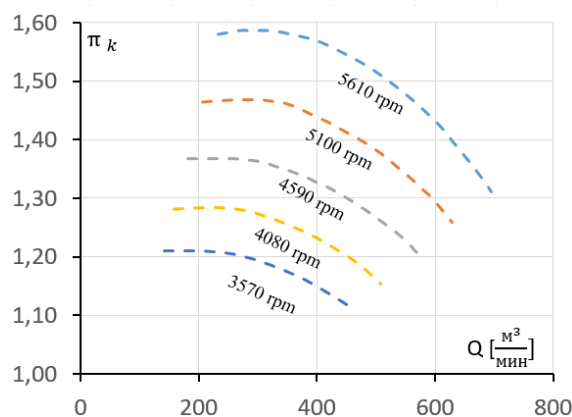


Рис. 1. График степени сжатия от объемной производительности

С помощью программы твердотельного моделирования были построены лопатки рабочих колес и обратного направляющего аппарата. Изначально расположение моделей лопаток задано так, чтобы соответствовать своему расположению в меридиональном сечении

проточной части. На рисунке 2 представлены полученные модели.



Рис. 2. Твердотельные модели лопаток центробежного нагнетателя

Для моделирования проточной части были выполнены следующие этапы:

1. Построение меридионального сечения. Результаты построения геометрии представлены на рисунке 3.

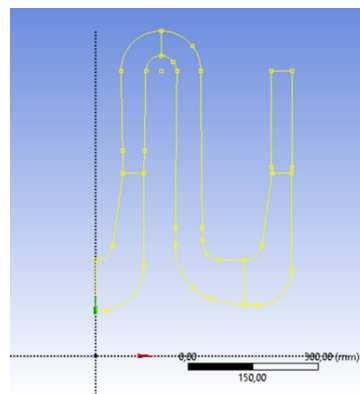


Рис. 3. Меридиональное сечение центробежного нагнетателя

2. Построение линий тока и импорт лопаток. Результаты представлены на рисунке 4.

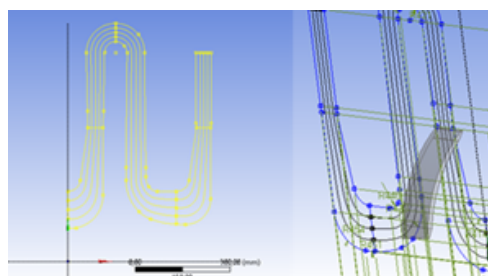


Рис. 4. Результат построения линий тока и импорта геометрии

3. Экспорт геометрии для построения сетки. Результаты построения сетки представлены на рисунке 5.

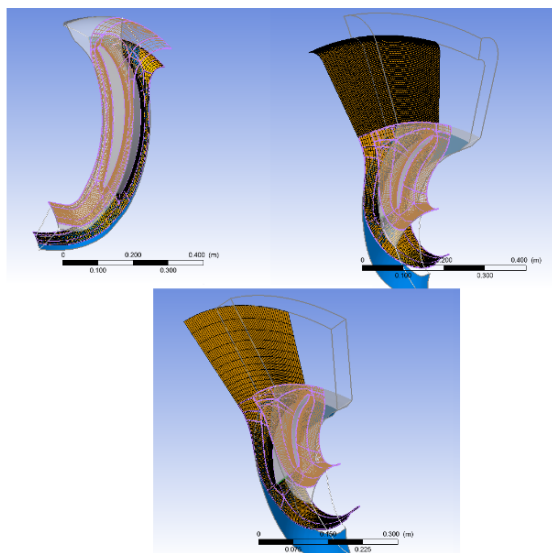


Рис. 5. Построенная сетка

4. Заданы граничные условия и выполнены расчеты. Расчётная модель представлена на рисунке 6.

Меридиональное сечение разделено на 4 эскиза: вход, выход, втулочный обвод, периферийный обвод. Это необходимо для дальнейшей работы с инструментами по построению сетки. Также произведено разделение на 3 части: рабочее колесо с безлопаточным диффузором, обратный направляющий аппарат, второе рабочее колесо с безлопаточным диффузором.

В расчете, в качестве рабочего тела, выбрана следующая модель: CH4RK.

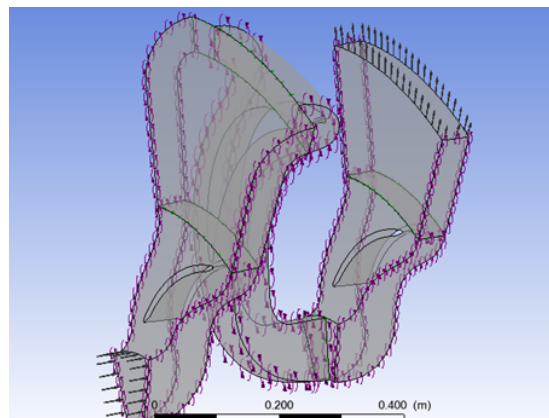


Рис. 6. Расчетная модель центробежного нагнетателя.

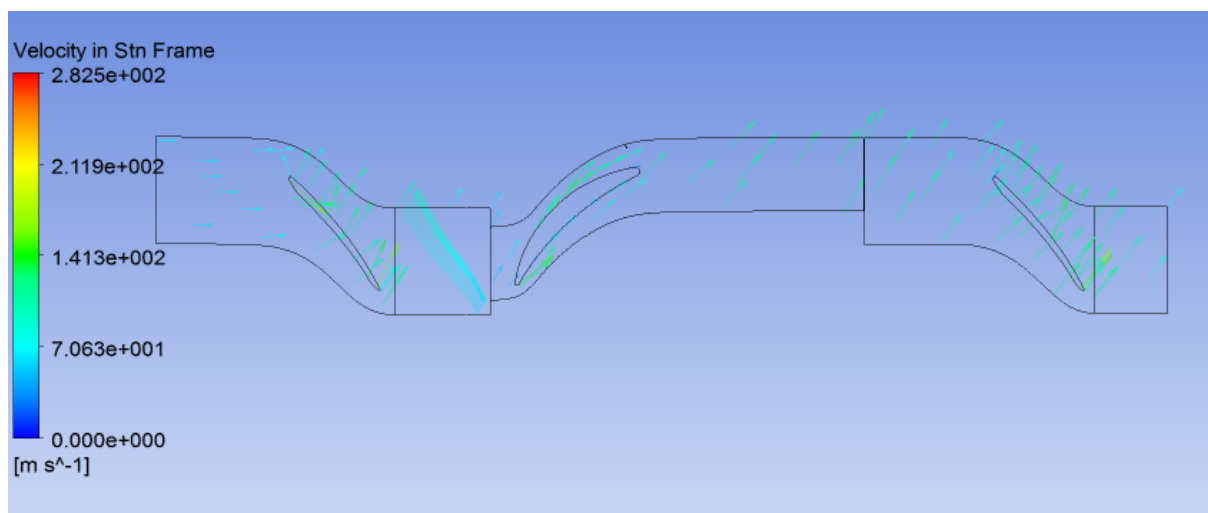


Рис. 7. Распределение вектора скорости в меридиональной плоскости.

На основании анализа режимов течения представленных на рисунке 7 наглядно видно, что поток перед вторым рабочим колесом сильно закручен, что приводит к возникновению существенных углов атаки и нерасчетным режимам работы.

На рисунке 8 представлено наложение расчётных изодром на заводскую характеристику компрессора.

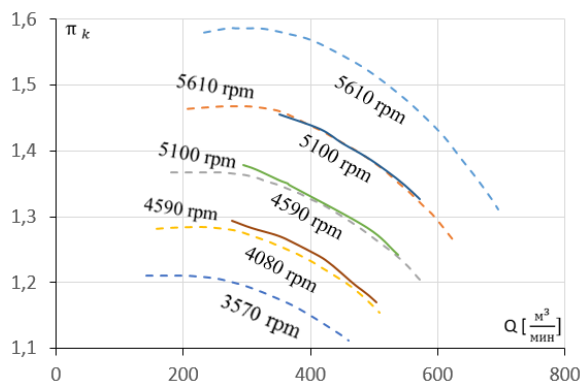


Рис. 8. График степени сжатия от объемной производительности.

Расчётные изодромы смещены относительно заводских на 10%, что свидетельствует о систематической погрешности. Путем избавления от погрешности в модели может стать изменение параметров геометрии, поэтому требуется оптимизация обратного направляющего аппарата для выравнивания потока.

В ходе данного исследования была построена модель нагнетателя, произведена адаптация модели для расчета методом конечных объемов, а также были получены первые расчетные изодромы, и проанализированы параметры потока.

Причиной расхождения может быть недостаточность информации о геометрии проточной части и отсутствие реальных эксплуатационных данных.

Дальнейшее направление исследований связано с изменением параметров геометрии, чтобы подтвердить или опровергнуть предположение о погрешности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ревзин Б.С. Особенности конструирования одно и двухступенчатых нагнетателей природного газа: Учебное пособие. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2000. 102 с.
2. Седуни В.А., Блинов В.Л., Бегетнев П.С., Дягтерева Е.Ю., Машечкин Н.В., Помелов Д.Н. Моделирование физических процессов в турбомашинах: Учебно-методическое пособие. Екатеринбург: УрФУ, 2016. 128 с.
3. Блинов В.Л. Численное моделирование течения в проточной части центробежного газового компрессора / Блинов В.Л., Винтер М.Ю., Бубнов А.Д., Комаров О.В. // X Всероссийская научная конференция молодых ученых «Наука. Технологии. Инновации», г. Новосибирск, 5-9 декабря 2016 г. Сборник научных трудов в 9 ч. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2016. – Часть 2. – С. 76 – 78.